

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ РЕЗКЕ ТОНКОСТЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Веретнова Т.А.

Руководитель – доцент, к.т.н. Ковалева А.А.

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

veretnova@mail.ru

Электроконтактная резка основана на локальном нагреве заготовки в месте контакта с электродом-инструментом и удалении размягченного или расплавленного металла из зоны обработки механическим способом: относительным движением заготовки или инструмента.

Предметом исследования являются процессы теплообмена, происходящие в зоне контакта обрабатываемой детали и дискового электрод-инструмента, осуществляющего резку с определенной скоростью вращения и подачи. Решение задачи моделирования процессов теплообмена связано с определением поля температур.

В качестве объекта исследования взяты образцы: стальной пруток (сталь У8А), алюминиевая труба (Д16), титановая пластина (BT1).

Геометрия образцов представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Геометрические параметры исследуемых образцов

Материал	Диаметр, мм		Толщина, мм
	D _н	D _в	
Алюминий (труба)	40,88	38,60	1,14
Сталь У8А (пруток)	12,5		-
Титан BT1(пластина)	-		1,6

При разработке математической модели принято, что распределение температуры по объему обрабатываемой детали описывается трехмерным стационарным уравнением теплопроводности, представленному в виде:

$$\operatorname{div}(\lambda(T)\operatorname{grad}(T))=0, \quad (2)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);

T – температура, К.

Теплофизические свойства материала обрабатываемой детали использовались как функции от температуры. На наружных поверхностях было задано граничное условие третьего рода:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \alpha_{\Sigma} (T - T_{oc}), \quad (3)$$

где T – температура поверхности заготовки, К;

T_{oc} – температура окружающей среды, К;

α_{Σ} – суммарный коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К)

На торцевых поверхностях заданы граничные условия второго рода:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = 0 \quad (4)$$

В зоне контакта электрод-инструмента (диска) с обрабатываемой заготовкой задан тепловой поток, определяемый электрическими режимами резки. Режимы резки задаются на основе предварительных опытов.

Система нелинейных алгебраических уравнений решена с помощью итерационного метода Ньютона-Рафсона. Определяемой величиной является температура, для которой составлены полиномы. Нелинейность уравнений объясняется зависимостью теплопроводности материала от температуры. Решение задачи проводилось методом конечных элементов при помощи программы Ansys.

В качестве примера на рисунках 1- приведены расчетные температурные поля исследуемых образцов.

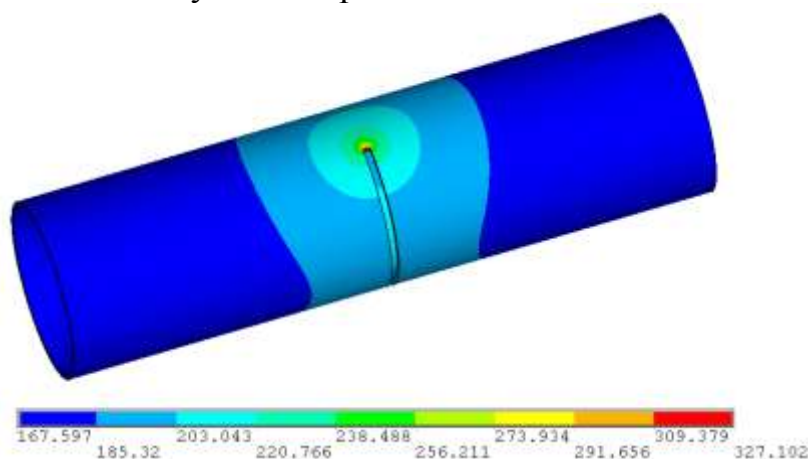


Рисунок 1 – Распределение температурных полей в алюминиевой трубе

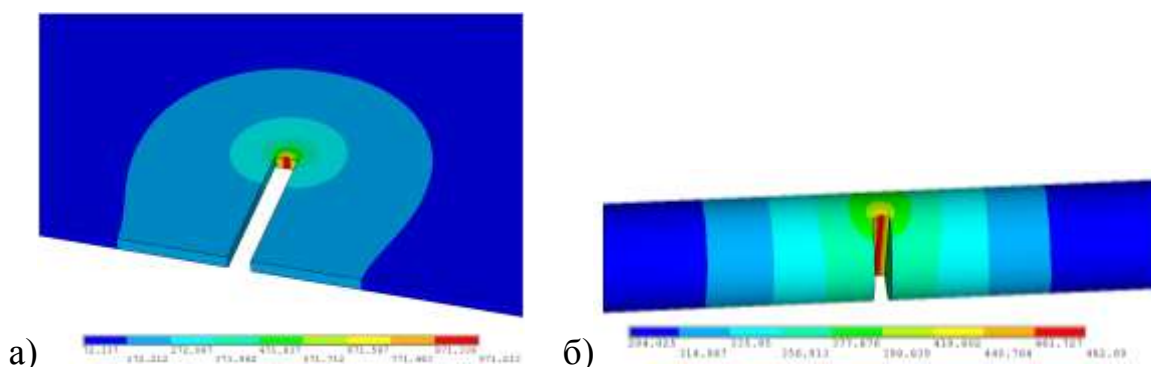


Рисунок 2 – Распределение температурных полей: а) в титановой пластине; б) в стальном прутке.

В результате видим, что зона резания нагрета до температуры пластического состояния. При согласовании подачи ЭИ со скоростью движения теплового фронта в заготовке при ЭКР можно ожидать снижение удельных энергозатрат при резке за счет снижения температуры в зоне реза.

Апробация математической модели проводилась путем сравнения полученных результатов с данными опытов. Металлографический анализ исследуемых образцов подтверждает, что температура в зоне контакта электрода-инструмента и обрабатываемой детали соответствует температуре пластического состояния металла.



Рисунок 3 – Микроструктура образцов: а) сталь У8А; б) алюминий Д16; в) титан ВТ1

Микроструктура стального образца из стали марки У8 (рисунок 3, а) является однородной, нет разграничения по зонам, отсутствует дендритная структура, что говорит о том, что оплавления в процессе резки не происходило.

При анализе алюминиевого образца (рисунок 3, б) пришли к выводу, что резка приводит к отслоению верхнего слоя. Частицы металла размягчаются и прилипают к поверхности образца, образуя неровную «корочку». Однако, оплавления при резке не происходит.

Металлографический анализ образца марки ВТ1 (рисунок 3, в) показывает, что зона термического воздействия очень узкая, оплавления не произошло. У кромки структура мелкозернистая, зерна имеют четкую геометрическую форму, к центру происходит укрупнение зерна, вероятно за счет теплопереноса от поверхности образца к сердцевине.

Таким образом, разработана математическая модель теплового состояния заготовки при ЭКР, основанная на решении трехмерного стационарного уравнения теплопроводности с внутренними источниками теплоты. Получено распределение тепловых полей при ЭКР.

Регулирование температуры в зоне реза путем изменения подачи электрод-инструмента, позволяет влиять на основные технологические показатели процесса электроконтактной резки.